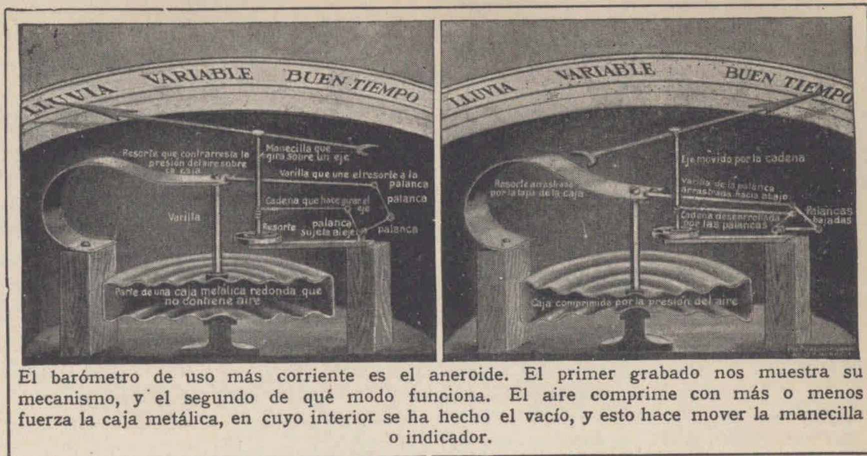


El barómetro de uso más corriente es el aneroide. El primer grabado nos muestra su mecanismo, y el segundo de qué modo funciona. El aire comprime con más o menos fuerza la caja metálica, en cuyo interior se ha hecho el vacío, y esto hace mover la manecilla o indicador.

LA PRESIÓN DEL AIRE

SABEMOS que hay varias clases de presión. Desde luego, por ejemplo, nos hacemos cargo de lo que significa oprimir un objeto cualquiera con el dedo—y al emplear la palabra « presión », es posible que acuda a nuestra mente una idea de esa especie. Por otra parte, cuando sostenemos un objeto en la mano, sentimos la presión debida a la gravedad: ésta es también una clase de presión, que nos es bien conocida y que es aplicable a los diferentes estados de la materia: sólido, líquido o gaseoso. Sabemos igualmente que existe otra clase de presión ejercida por los rayos o radiaciones del éter, tal como la luz, y que se conoce con el nombre de impulso o presión de radiación. Conviene mencionar esta especie de presión, porque su descubrimiento ha influído poderosamente en el concepto que nos formamos acerca de las consecuencias que acabará por tener algún día la fuerza de la gravedad.

Vamos a considerar ahora algunos otros géneros de presión, y podremos ver que también en este caso tendremos que hablar de medidas. Así como hemos encontrado una manera especial de medir la gravedad, el peso específico y otras cosas, se han ideado maneras adecuadas de medir las especies de presiones, de las cuales vamos a tratar.

Decimos que la materia se halla en estado sólido, líquido o gaseoso; pero de estos tres estados hay dos que se parecen uno a otro mucho más que lo que cualquiera de ellos se parece al tercero. El agua es muy diferente del aire; sin embargo, hay una circunstancia muy importante, en virtud de la cual, el agua y el aire se parecen entre sí mucho más que cualquiera de ellos se parece al suelo que pisamos, y es que aquellos dos poseen *fluidez*.

En los cuerpos sólidos hay ciertas fuerzas que mantienen juntas las moléculas de que se componen, de manera que el conjunto conserva siempre su forma; pero la forma del agua o la del aire—si es que podemos hablar de tal cosa—cambia constantemente, con tal de que se le permita hacerlo, porque poseen la facultad de fluir. Por eso los gases y los líquidos, en el lenguaje científico, son conocidos con el nombre de flúidos. En el lenguaje vulgar, las palabras flúido y líquido significan lo mismo; pero conviene tener presente que los gases también son flúidos, porque, lo mismo que los líquidos, fluyen.

Ahora bien, todo flúido, en cualquier tiempo y lugar, ejerce siempre cierta presión que se llama presión de los flúidos, y de la cual existe un ejemplo que todos hemos observado, aunque tal vez

sin darnos cuenta de ello: la presión del aire.

La presión atmosférica—como suele decirse—es la más importante de todas las presiones flúidas, por lo que se refiere a la vida, y conviene que dediquemos algún tiempo a estudiarla detenidamente. Sabido es que vivimos en el fondo de un océano de aire y que nos arrastramos por el suelo de este océano; y cuando logramos nadar en él—como lo hacemos con los aeroplanos—nos mostramos orgullosos de nosotros mismos.

DE QUÉ MODO EL AIRE PENETRA EN NUESTROS PULMONES POR VIRTUD DE SU PRESIÓN, Y NOS PERMITE VIVIR

La presión del flúido aéreo deja sentir sus efectos en todos los ámbitos de ese inmenso océano, y su consecuencia más importante es quizás la de permitirnos respirar. Lo que ocurre cuando se respira es que efectuamos un movimiento que tiende a vaciar por completo los pulmones, pero como éstos se hallan en comunicación con el aire exterior, la presión atmosférica hace penetrar este aire en el espacio vacío que ha quedado en dichos pulmones. De manera que, sin la presión atmosférica, sería imposible la respiración y, por consiguiente, la vida.

No hará más de unos trescientos años que los hombres atribuían esa natural inclinación del aire, o de otro flúido cualquiera, a llenar todo espacio vacío, al hecho de que la naturaleza *tiene horror al vacío*—expresión que consideraban suficiente para explicar dicha clase de fenómenos. Pero hace cosa de tres siglos se descubrió la razón por la cual la naturaleza tiene ese « horror del vacío ». Se vió que lo que ocurre es siempre consecuencia de la presión de los flúidos. Este descubrimiento no se debe directamente al propio Galileo, sino a otro italiano llamado Torricelli, que fué el discípulo más famoso de Galileo.

Todos sabemos que es posible elevar agua por medio de una bomba; pero se ha visto que hay cierta altura, de la cual no la podemos hacer pasar; tal altura es de unos diez metros.

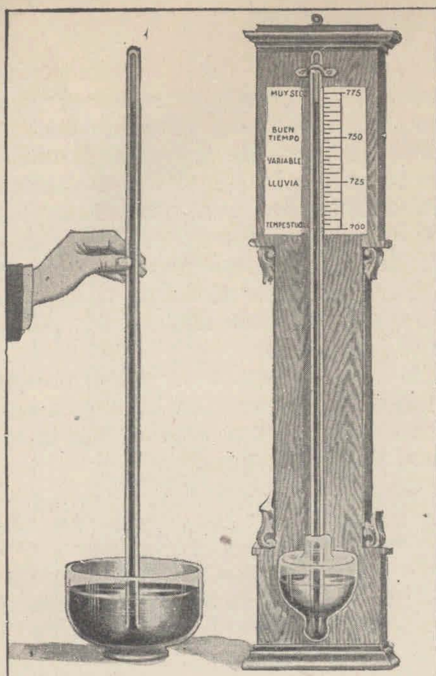
UN SABIO ITALIANO QUE DESCUBRIÓ EL GRAN SECRETO DE LA ATMÓSFERA

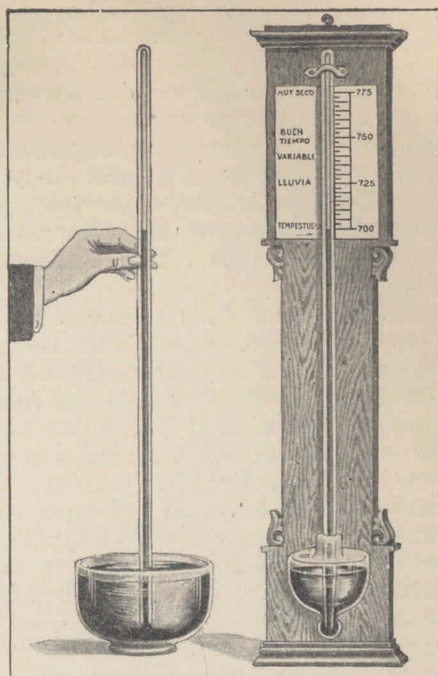
Pero no hay bomba capaz de elevar agua hasta una altura de quince metros, por ejemplo. ¡De manera que, por lo visto, el horror que la naturaleza siente por el vacío tiene límites definidos! A Torricelli se le ocurrió pensar que lo mismo debía suceder tratándose de otros flúidos; pensó que si el agua se elevaba en la bomba, era debido a la presión atmosférica; y que cualquier otro líquido más pesado que el agua se elevaría también, pero que, debido a la diferencia de peso, no llegaría a igual altura. Tomó, pues, el líquido más pesado, que es el mercurio, y demostró que dicha substancia se eleva lo mismo que el agua, pero que las alturas que alcanzan respectivamente los dos líquidos están en razón inversa de sus pesos específicos.

Es muy fácil comprender el famoso experimento de Torricelli, que demostró por primera vez la existencia de la presión atmosférica, revelándonos por qué la naturaleza tiene ese « horror al vacío ». ¿Qué ocurrirá si tomamos un tubo de vidrio delgado y después de llenarlo de mercurio, lo invertimos sumergiéndolo por su extremo abierto en una copa que también contenga mercurio? Podría suponerse que todo el mercurio habría de derramarse en la copa quedando el tubo vacío; pero no sucede así. Hay algo que sostiene la columna de mercurio en el interior del referido tubo. Sabemos que la atracción de la tierra propende a hacer bajar la columna. ¿Cuál es, pues, la fuerza opuesta que la sostiene? Es la presión de la atmósfera sobre la superficie del mercurio contenido en la copa y que, por decirlo así, empuja una parte del metal hacia dentro del tubo.

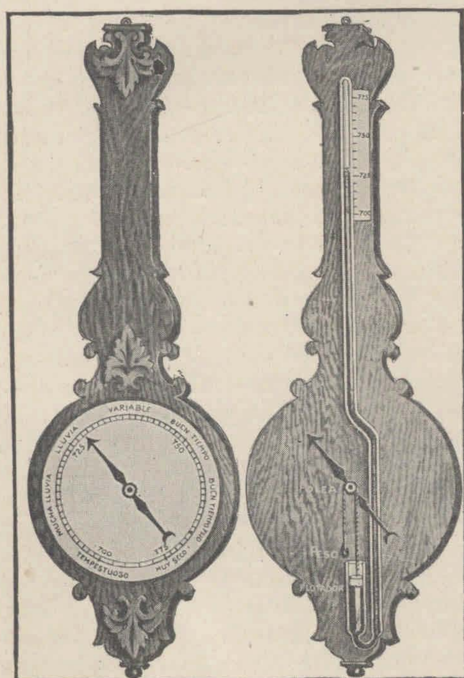
LA PRESIÓN DEL AIRE, QUE ES CAPAZ DE SOSTENER UNA COLUMNA METÁLICA

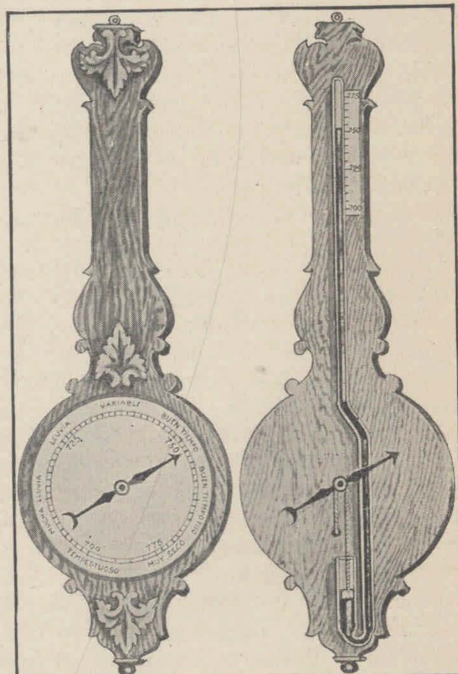
Ahora bien; si el tubo es corto, lo llenará el mercurio; pero, si usamos un tubo cuya longitud sea, por ejemplo, de noventa centímetros, y después de lleno de mercurio, lo invertimos sumergiéndolo por un extremo en la cubeta, la





Evangelista Torricelli, célebre físico y geómetra italiano, discípulo del famoso Galileo, fué el descubridor del barómetro y de los efectos de la presión atmosférica. En estos grabados se ve en qué consiste su utilísimo descubrimiento: si se llena con mercurio un tubo cerrado por uno de sus extremos, y se invierte sobre un recipiente que contenga este metal, la altura de la columna de mercurio dentro del tubo será mayor o menor, según aumente o disminuya la presión atmosférica.





Estas láminas nos muestran el llamado barómetro de sifón, provisto de un tubo en forma de sifón, de un cuadrante y de un índice o manecilla. La tapa ha sido quitada para que pueda verse el funcionamiento de dicha manecilla. Al subir o bajar el nivel del mercurio por el extremo abierto del tubo, se traslada un peso de marfil hacia arriba o hacia abajo, haciendo girar el índice mediante una cadena que pasa por una polea.

columna de mercurio no se mantendrá al nivel del extremo superior del tubo, sino qué, en término medio, bajará unos catorce céntimetros. En otros términos, la presión de la atmósfera es capaz, por lo regular, de sostener una columna de mercurio de setenta y seis centímetros de altura.

Nos interesará saber lo que contiene el espacio que queda en el tubo sobre el nivel del mercurio, después que éste ha descendido. No puede haber aire en él, y podríamos suponer que no hay nada —o sea que nos encontramos con un vacío absoluto. Es, efectivamente, un vacío casi de los mas perfectos que podemos obtener, y desde el tiempo a que nos referimos, se conoce con el nombre de vacío de Torricelli; pero no es absoluto, pues el mercurio líquido se convierte muy fácilmente en gas o vapor, de manera que, si bien no hay aire en el vacío de Torricelli, hay cierta cantidad de vapor de mercurio. Es posible, por diversos medios, impedir hasta cierto punto que el mercurio se evapore, con lo cual conseguimos obtener la mayor aproximación posible al espacio vacío; pero conviene tener en cuenta que por más que este espacio no contenga huella alguna de materia ordinaria, el éter que llena todo el espacio está también en éste.

DE QUÉ MODO PUEDE MEDIRSE LA PRESIÓN DE LA ATMÓSFERA

Desde luego podemos medir la longitud de la columna de mercurio en uno de los antedichos tubos, de modo que si la presión atmosférica variase de un día a otro, deberíamos observar variaciones correspondientes en la altura de la columna. Si la presión de la atmósfera es muy elevada y se ejerce con mayor fuerza sobre la superficie del mercurio de la cubeta, deberá ser capaz de sostener una columna más larga de mercurio; y si la presión es débil, no podrá sostener una columna tan alta. Si imaginamos un hombre apretando una mesa con el puño, realizaremos lo que ocurre en el caso de la columna de mercurio. Así es, que el experimento de Torricelli, no sólo demuestra la existencia de la presión atmosférica, sino que nos ofrece la manera de medirla.

Prescindiendo de ciertas alteraciones procedentes de lo que ocurre en la atmósfera, debemos tener medios para demostrar que al paso que nos elevamos en el aire, descenderá la columna de mercurio, ya que decrece la altura de la capa de aire que pesa sobre nosotros, y, por lo tanto, la presión.

De igual manera aumenta la presión del agua según que nos hundimos más dentro del mar, cosa que todos los buzos saben por experiencia.

LO QUE LE OCURRIÓ A CIERTO TUBO DE MERCURIO EN LA CUMBRE DE UNA MONTAÑA

Un hombre, más célebre aún que Torricelli, el gran filósofo francés Pascal, realizó el siguiente experimento al poco tiempo de haber empezado Torricelli sus trabajos. Llevó un tubo de los llamados de Torricelli, a una altura considerable, y observó que al llegar a dicha altura el nivel del mercurio se hallaba mucho más bajo que al principio. Cuando descendió de la montaña volvió a mirar y vió que el mercurio había subido, porque entonces era mayor la presión de la atmósfera sobre la superficie del líquido contenido en la cubeta. La variación de la presión atmosférica conforme a la altura, produce efectos sumamente interesantes. Las personas, por ejemplo, que se elevan en un globo, experimentan las consecuencias de la baja presión, ya que de dicha presión depende el acto de respirar, y pueden sufrir accidentes muy graves. Existe una clase de dolencia llamada mal de montañas, que también puede llamarse mal de los aeronautas, y que es debido a esa disminución de la presión atmosférica. Mucha gente duerme mal cuando la presión de la atmósfera es muy baja, es decir, cuando van a las montañas, sintiéndose mejor cuando se hallan a orillas del mar, o sea en donde la presión es lo más alta posible.

Se ha demostrado recientemente también por un italiano, que en el cuerpo de las personas que por espacio de unos días han vivido en una grande altura, aumenta considerablemente la pro-

CÓMO SE MIDE UNA MONTA A POR MEDIO DEL AIRE





LA ALTURA DE UNA MONTAÑA PUEDE MEDIRSE POR MEDIO DEL BARÓMETRO

ducción de los glóbulos rojos de la sangre, glóbulos que llevan a los tejidos el oxígeno de los pulmones.

DE QUÉ MODO TAN ADMIRABLE SE ACOMODA EL CUERPO HUMANO A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En la cumbre de las montañas, el aire está tan enrarecido, o es tan baja la presión de la atmósfera, que el cuerpo se ve precisado a ponerse en condiciones adecuadas. Es cosa maravillosa el que el organismo del hombre pueda acomodarse de esa manera a las variaciones de la presión atmosférica.

Ahora bien, puesto que el tubo de Torricelli nos facilita la manera de medir la presión del aire, tenemos lo que podemos llamar un barómetro—palabra que, en realidad, significa « medida de la presión »; y por eso decíamos que hay una clase de presión de flúidos que todos hemos tenido ocasión de medir. Cada vez, en efecto, que miramos el barómetro, lo que hacemos es medir la presión de la atmósfera, pues para eso sirve únicamente tal instrumento.

La manera que tenemos de leer las indicaciones barométricas, contribuye, sin duda, a que no nos hagamos cargo de su verdadero funcionamiento. Nos limitamos a ver si la aguja indicadora señala el « buen tiempo » o el « variable », y solemos considerar el barómetro como un instrumento que sirve para anunciar el tiempo que ha de hacer; sin embargo, en realidad, no hace más que medir la presión de la atmósfera en el momento y lugar de que se trata. La aguja está dispuesta de tal modo, que indica la altura en centímetros de la columna de mercurio que en aquél sitio y en aquél momento puede ser sostenida por la presión atmosférica.

POR QUÉ NOS INDICA EL BARÓMETRO EL TIEMPO QUE HA DE HACER

La relación entre el barómetro y el estado del tiempo se funda en el hecho de que, en general, la presión atmosférica es lo que influye más directamente en los fenómenos meteorológicos. Si la presión de la atmósfera es muy alta en un punto determinado, no es probable que ocurra allí perturbación alguna; pero si, por el contrario, es muy baja, el aire acudirá a aquél punto desde las regiones en donde la presión es elevada. Esto significa que habrá viento, y el viento puede traer lluvia. Vemos, pues, de este modo, en qué consiste la relación entre el barómetro y el tiempo; y, si observamos que las indicaciones de dicho instrumento no son siempre ciertas, es preciso tener en cuenta que el estado del tiempo depende de una serie de causas muy complicadas y que la presión atmosférica es tan sólo una de entre ellas, si bien la más importante.

El barómetro nos ofrece un medio sencillísimo de medir la altura de una montaña. Bastará con que observemos cuánto baja el nivel del mercurio a medida que nos elevamos, por ejemplo, cada tres cientos metros, para poder calcular fácilmente dicha altura. Sin embargo, este procedimiento puede emplearse solamente a condición de subir a la montaña, lo cual es muchas veces imposible. Hay también otros métodos más exactos para medir las alturas.

DE QUÉ MODO EL MERCURIO CONTENIDO EN EL TUBO HACE MOVER LA AGUJA DEL BARÓMETRO

El barómetro ordinario viene a ser, ni más ni menos, el aparato de Torricelli, pero el extremo del tubo suele doblarse en forma de U, en lugar de ser recto y de estar sumergido dicho extremo en una cubeta de mercurio. Si dejamos flotar una bola de hierro sobre la superficie del líquido en el extremo abierto del tubo, será fácil adaptar a esa bola un mecanismo cualquiera provisto de una manecilla o índice que nos indique el nivel del mercurio o que señale ciertas palabras, tales como « buen tiempo », « lluvia » etc.

Existe otra clase de barómetros que no contienen mercurio ni otro líquido cualquiera, y se llaman barómetros aneroides. Esto viene a significar literalmente « barómetros sin flúido ». Se componen sencillamente de una caja redonda y plana, de metal, en la cual se ha hecho el vació más completo posible. La atmósfera comprime más o menos

el fondo y la cubierta de la caja según sea más o menos baja la presión, siendo fácil disponer un mecanismo mediante el cual podemos conocer el grado de compresión de la caja. Los resultados que se obtienen por medio de estos instrumentos distan mucho de ser exactos, pero tienen su utilidad como barómetros caseros.

Si tomamos un barómetro ordinario y lo calentamos, el mercurio se dilatará, ocupando mayor espacio dentro del tubo, como ocurre con casi todos los cuerpos cuando se eleva su temperatura. Por consiguiente, siempre que queramos obtener resultados algo exactos, es preciso que al emplear un barómetro tengamos en cuenta los cambios de la temperatura.

LA PRESIÓN DEL AIRE SE EJERCE SOBRE NOSOTROS CON IGUAL FUERZA EN TODAS DIRECCIONES

Así es que un buen barómetro constituye siempre, a la vez, un termómetro o medidor de la temperatura. Para construir un barómetro, es preciso empezar por hacer hervir el mercurio, con objeto de expulsar todo el aire o el vapor de agua que pudiera contener. Si no lo hacemos, es claro que el aire y el vapor se desprenderán del mercurio—una vez montado el instrumento—para ocupar el espacio vacío, o de Torricelli, que queda en la parte superior del tubo, impidiendo que el mercurio alcance el nivel debido.

Cada centímetro cuadrado de la superficie de nuestro cuerpo está sometido a una presión atmosférica igual a 1033 gramos, y si dicha presión se ejercitase únicamente hacia abajo, soportando todo el peso la cabeza, no podríamos resistirla. Pero entre las leyes que se refieren a la presión de los flúidos, una de ellas nos dice que esta presión se ejerce en todas direcciones, en cualquier lugar determinado; luego, si nos hallamos comprimidos hacia abajo, también lo estamos por los lados, de manera que la presión queda contrarrestada en todas direcciones y no puede causarnos daño. Si acaso sucediese que una parte cualquiera de nuestro cuerpo estuviera sometida a una presión diferente de las otras, observaríamos inmediatamente un hecho algo sorprendente. Tomemos un tubito de vidrio y hagamos arder algo en su interior, de manera que quede lleno de aire caliente; aplicándolo luego sobre la piel por su extremo abierto, resultará interesante observar lo que ocurre. El aire que hay dentro del tubo está desde luego muy caliente, y sabemos que el aire, como casi todas las cosas, se dilatan al calentarse; pero al cabo de un rato, ese aire se enfriará, y al enfriarse se contrae, lo cual significa que la presión en el interior del tubo será más baja que la presión exterior. Esto es, la presión sobre el trozo de piel recubierta por el tubo será inferior a la presión atmósferica que pesa sobre el resto del cuerpo.

Puesto que las leyes de la fuerza han de prevalecer siempre, la presión que soporta la piel situada fuera del tubo empujará hacia adentro de este tubo una porción de los flúidos contenidos en el cuerpo, y la piel cubierta por el tubo, no hallándose sometida a aquella misma presión, se levantará dentro de dicho tubo, en virtud de la presión de los flúidos que hay debajo de ella, alcanzando cierta altura para formar una especie de protuberancia.

Un estudiante de medicina que, hallándose desocupado, se entretuviera en aplicarse tres o cuatro tubos de ésos sobre la piel de la frente y se paseara con ese adorno extraño, ofrecería ciertamente un aspecto ridículo; pero enseñaría a los que le contemplaran que la presión atmosférica soportada por nuestro cuerpo es una cosa muy real y positiva.

Ya hemos visto que, si respiramos, es por efecto de la presión atmosférica. Sin embargo, se da el caso de que, en vez de aspirar aire los pulmones, deseemos absorber agua por la boca. Véase, por ejemplo, lo que ocurre cuando sorbemos una horchata valiéndonos de una paja, o cuando llenamos una jeringuilla de tinta para introducirla en una pluma estilográfica. También en estos casos utilizamos la presión

atmosférica. Al sorber, por conducto de la paja, no hacemos sino reducir la presión por el extremo que tenemos en la boca, de suerte que la presión ejercida sobre la superficie del flúido contenido en el vaso, empuja dicho flúido por el otro extremo de la paja.

POR QUÉ SALE AGUA DE LAS BOMBAS

Si mantenemos la punta de la lengua sobre el extremo de la paja, conseguiremos sostener la columna de líquido a pesar de la fuerza de gravedad; pero al retirar la lengua y dejar que la presión sea la misma en ambos extremos de la paja, desaparece la fuerza que contrarrestaba a la gravedad, y la columna del líquido bajará.

Esta manera de utilizar la paja es parecida al funcionamiento de una jeringa, y también al de una bomba. Dentro de la bomba hay el émbolo que se adapta estrechamente a las paredes de ella; al levantar este émbolo, se reduce la presión en el interior de la bomba, y el líquido es aspirado, o sea, empujado hacia dentro, por la presión atmosférica. Una vez introducido el líquido en el aparato, sólo es cuestión de detalle el expulsarlo por donde ha entrado o hacerle salir, como sucede en las bombas, por algún otro conducto.

Todos conocemos esas botellas que suelen llamarse sifones y están hechas de manera que el líquido que contienen suba por un tubo y baje por otro. Hablando con propiedad no debiera darse el nombre de sifón más que al tubo. Si tomamos uno de esos tubos curvos, prescindiendo de la botella, y después de llenarlo de agua lo sumergimos por un extremo en un vaso que contenga el mismo líquido, toda el agua del vaso se derramará por el otro extremo del tubo.

POR QUÉ PUEDE VACIARSE UN VASO DE AGUA POR MEDIO DE UN SIFÓN

Esto es obra de la presión atmosférica. Desde luego ha de derramarse el líquido contenido en la parte del tubo que se inclina hacia abajo, porque lo atrae la gravedad, sin que exista otra fuerza que se oponga a dicha atracción; pero al derramarse reduce la presión dentro del tubo, dejando detrás de sí un espacio vacío, de manera que la presión ejercida por la atmósfera sobre la superficie del agua del vaso se halla en condiciones de manifestarse, empujando hacia arriba el líquido de dicho tubo, hasta que el vaso quede vacío.

La presión atmosférica es la más importante de todas las presiones ejercidas por los flúidos, y de la que, sin duda, más fácilmente podemos hacernos cargo. Estudiando con más detenimiento las leyes de los flúidos tropezamos con serias dificultades; pero hay uno o dos principios importantes que fácilmente pueden comprenderse. Ya mencionamos aquella ley, según la cual, la presión de un flúido en cualquier lugar determinado es la misma en todas direcciones. Sin embargo, para que esta ley quede formulada con la debida precisión es necesario añadir una palabra: no podemos decir « un flúido » solamente, sino un « flúido inmóvil ». Se comprende, en efecto, que cuando introduzcamos otro factor, o sea el movimiento del flúido, cambiará enteramente el aspecto de la cuestión. Así, por ejemplo, nosotros no notamos de manera apreciable la presión atmosférica, pero sentimos el viento.

EL HOMBRE EXTRAORDINARIO QUE DESCUBRIÓ LA LEY DE IGUALDAD DE PRESIÓN

El descubrimiento de esta ley de la igualdad de presión de los flúidos en todas las direcciones es debido al gran francés Pascal, a quien ya tuvimos ocasión de nombrar. Puede considerársele como hombre realmente extraordinario por lo vasta y completa que era su inteligencia. Tanto los que estudian religión, moral y filosofía, como los que se dedican a la altas matemáticas, o los que tratan de averiguar lo que ocurre en un vaso de agua, han de acudir a las obras de Pascal, pues en ellas están tratados sabiamente todos esos temas. Hay pocos ejemplos como éste en la historia de la humanidad.

Ahora bien, es interesante idear un experimento que demuestre la exacti-

tud de la ley de Pascal. Si tomamos una botella vacía, y, después de ponerle un tapón, la sumergimos en agua algo profunda o hacemos que se hunda en ella atándole un peso, observaremos que la presión del flúido empuja el tapón hacia dentro de la botella. Y esto ocurrirá cualquiera que sea la posición de la botella: derecha, puesta de lado, del revés o inclinada según un ángulo cualquiera. Asimismo un pez que nada en el agua, se halla sometido a una presión que se ejerce por abajo, por arriba y por los lados. Lo importante es que el flúido no manifiesta mayor tendencia a ejercer su presión en una dirección que en otra. En eso estriba la diferencia entre la presión de los flúidos y la presión ejercida por este libro sobre la mesa, o por la mesa sobre el piso, o por las vigas del techo sobre las paredes de la casa. La presión de un cuerpo sólido sobre otro se ejerce siempre en una sola dirección.



ROBERTO BOYLE

DE QUÉ MODO PUEDEN COMPRIMIRSE LOS GASES, Y NO LOS LÍQUIDOS

Las leyes fundamentales de la presión son aplicables a las dos clases de flúidos; pero por más que esto sea cierto, no puede dejar de verse que ha de existir gran diferencia entre la clase de flúidos que llamamos gases y los que se conocen con el nombre de líquidos. Si tomamos un gas, o una mezcla de gases, observaremos que pueden comprimirse, y que cuando dejamos de ejercer la fuerza que los comprimía vuelven inmediatamente a dilatarse.

Los gases son, pues, compresibles, mientras la otra clase de flúidos—o sea, los líquidos—como, por ejemplo, el agua, no son prácticamente compresibles.

Se ha demostrado en tiempos recientes que, mediante una fuerte presión, es posible comprimir un poquito el agua. Conviene que lo tengamos presente; pero, de todos modos, subsiste entre los gases y los líquidos la gran diferencia debida a que los primeros son fácilmente compresibles, mientras los últimos son incompresibles en circunstancias iguales. Ahora bien; puesto que los gases pueden ser comprimidos por medio de la presión, nos convendrá saber si existe alguna ley que rija su compresibilidad. Esta ley existe, efectivamente, y será lo último de que trataremos en el presente capítulo.

EL DESCUBRIMIENTO DE ROBERTO BOYLE, QUE NOS EXPLICA POR QUÉ SE PRODUCEN LAS EXPLOSIONES DE GAS

Se debe este descubrimiento a un inglés, llamado Roberto Boyle, que floreció en el siglo XVII, y es conocido con su nombre. La ley de Boyle nos dice que los gases ocupan un espacio tanto menor cuanto mayor es la presión a que se hallan sometidos, siempre que su temperatura permanezca contante. Si se eleva la presión, el volumen disminuye; y si se reduce la presión, el volumen aumenta. Esto significa que una porción determinada de gas ejercerá mayor presión, cuanto menor sea el espacio que ocupa. Nos damos cuenta de ello cuando provocamos una explosión, por la repentina acumulación de gas en un espacio muy pequeño.






A la izquierda vemos un calderillo que contiene aire líquido, colocado encima de un trozo de hielo, y que parece estar lleno de agua hirviendo. Como la temperatura del hielo es muy alta comparada con la del aire líquido, éste se convierte en un gas igual al aire atmosférico. El segundo grabado representa una copa llena de aire líquido que ha sido sumergido en una botella de agua, escapándose el aire por la boca de la botella con fuerte silbido, como el del vapor.

EL CALOR Y EL FRÍO

SABEMOS que la materia puede existir en el estado sólido, en el líquido o en el gaseoso, y sabemos también que, por regla general, del calor depende principalmente que se halle en uno o en otro de esos tres estados. Si enfriamos una porción de agua, y seguimos enfriándola hasta un grado suficiente, acabará por solidificarse. Si, por otra parte, tomamos esta agua solidificada, o hielo, y la calentamos, se convertirá en líquido.

Podría, pues, decirse que el agua líquida viene a ser hielo, al cual se ha añadido o comunicado calor. Y si a esa agua líquida le añadimos más calor—es decir, si la hervimos,—observaremos que desaparece, lo cual nos indica que se ha convertido en vapor, o sea agua en estado gaseoso.

De manera que podemos decir que el vapor es agua líquida a la cual se ha añadido calor, del mismo modo que el agua líquida viene a ser hielo que se ha calentado.

Entendido esto nos hallamos ya en camino de comprender lo que es el calor; y como del calor es de lo que vamos a tratar ahora, el mejor modo de obtener de él alguna noción precisa será considerarlo como una cosa que se añade a la materia y que, por lo regular, determina los diferentes estados de ella.

Ahora bien; el punto importantísimo que se ha discutido durante siglos es justamente el que se refiere a averiguar en qué consiste esa cosa. En la actualidad, oportunamente, la discusión ha terminado ya, y nos aprovechamos de sus resultados, sin haber tenido que resolver el problema. Hay algo en el calor que es indudablemente real y positivo, pudiéndose asegurar que no es cosa imaginaria el calor de un hierro candente. ¿Pero es acaso una especie de materia? ¿Es algo que puede pesarse? Y si no es así ¿qué es?

En primer lugar, podemos demostrar que el calor no es una cosa que pueda pesarse. Un cuerpo caliente no pesa más que cuando está frío. Pero toda clase de materia es pesada, porque la gravedad obra siempre sobre ella. Luego el calor no es una clase de materia. No obstante esto, el calor es algo y algo real; por lo tanto, necesitamos saber lo que es.

Hubo un tiempo en que se creía que bastaba inventar nombres para salir del paso. Se convino en dar a los cuerpos materiales, como las piedras, el agua y los gases, el nombre de *ponderabilia*,

palabra latina que significa «cosas que pueden pesarse»; mientras a otras, como el calor, que no pueden pesarse aunque sean indudablemente muy reales, se las llamaba *imponderabilia*. Pero, estas palabras, claro está, no nos enseñan nada; por haberlas inventado no sabemos más que lo que sabíamos antes. Sin embargo, en todo tiempo y lugar y en todas las cuestiones, los hombres se imaginan que el dar nombre a las cosas contribuye a adelantar en el camino del progreso.

En nuestros días hemos conocido una cosa que realmente no puede ser pesada. Esta cosa es el movimiento. El movimiento no podemos pesarlo; no es posible sostenerlo con las manos, ni gustarlo con la boca; pero sabemos que es una cosa real. Sabemos también que hay varias clases de movimiento y, por consiguiente, no basta decir que el calor es movimiento, sino que es preciso añadir que se trata de un género particular de movimiento enteramente distinto de los otros. Se cree que el calor consiste en una especie de vaivén, llamado, según ya sabemos, vibración de los átomos o de las moléculas que componen la materia. Este concepto, bastante sencillo de por sí, tiene consecuencias muy sorprendentes.

LA VIBRACIÓN DE LAS MOLÉCULAS CALIENTA EL AGUA

Consideremos lo más sencillo, el agua. Imaginemos que tenemos delante una porción de agua líquida que podrá estar caliente o fría; pero de todos modos contendrá cierta cantidad de calor. En otros términos; sus moléculas vibrarán con más o menos rapidez y, como es de suponer, las vibraciones de dichas moléculas serán de cierta amplitud. Ahora bien; si le añadimos calor, según la noción que tenemos de dicho calor, es lo mismo que si le añadiésemos movimiento de esa clase particular.

Aumentándose, pues, de este modo el movimiento de las moléculas de agua, lo cual podrá manifestarse en forma de aumento en la rapidez o en la amplitud de las vibraciones, o acaso en las dos a un tiempo, habrá de llegar un momento en que a dichas moléculas les sea imposible seguir vibrando con la misma rapidez y libertad y al propio tiempo mantenerse unidas como lo están cuando forman agua líquida. Dado que sean iguales las demás condiciones, el agua, calentada hasta este punto, debe convertirse en gas; y así sucede, efectivamente. El agua hierve. Al vapor que resulta puede añadírsele una cantidad de calor, a la cual no es posible señalar límite alguno.

Veamos, ahora, el caso contrario. En vez de añadir al agua calor, que es una especie de movimiento, quitémosle el que ya tenía. Sabido es que si la enfriamos acabará por solidificarse. No variando las otras condiciones (cosa que hemos de tener presente, pues la presión atmosférica también interviene en esto), si les quitamos a las moléculas del agua una cantidad demasiado grande de la clase de movimiento que llamamos calor, les será imposible conservar entre sí la relación que las une cuando forman agua líquida. Privadas de gran parte de ese movimiento, las moléculas tendrán que enlazarse de una manera distinta, formando lo que llamamos hielo.

HIELO CALENTADO Y HIELO ENFRIADO

Si bien todos estamos conformes en que el agua líquida puede estar más o menos caliente o fría, porque lo observamos diariamente, es posible que tengamos dudas acerca de si el hielo puede también enfriarse o calentarse más o menos. Esto es indudable. Podemos enfriar el hielo lo mismo que enfriamos agua, quitándole ese género especial de movimiento, llamado calor, y seguir enfriándolo continuamente hasta llegar a cierto punto.

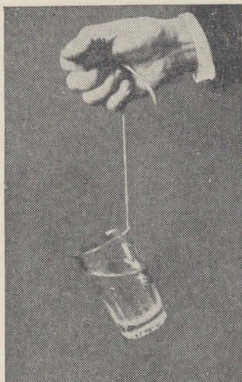
Ahora bien, si una persona posee cierta cantidad de dinero podrá añadir lo que quiera a su caudal, sin que pueda señalarse límite al aumento. Lo mismo sucede tratándose del aumento del calor, en un cuerpo cualquiera; pero si a un hombre vamos quitándole el dinero que posee, centavo tras centavo, llegará forzosamente un momento, lo mismo si partimos de un centavo que de un

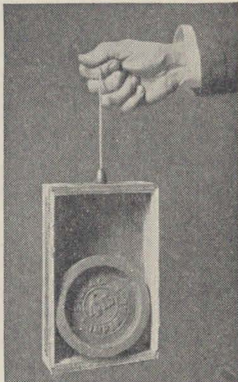
millón de pesos, en que no le quedará dinero para perder y en que, por mucho que hagamos, no nos será posible quitarle más.

Si eso es cierto tratándose de dinero, también habrá de serlo tratándose de otra cosa cualquiera, como, por ejemplo, de la especie de movimiento llamado calor. Al enfriar el hielo, le quitamos ese movimiento; pero como no es infinita la cantidad que contiene, si seguimos enfriándolo continuamente llegaremos, andando el tiempo, a quitarle todo su calor, si bien esto es cosa muy difícil y acaso imposible, obteniendo, por último, algo que estará absolutamente frío.

DE QUÉ MODO PUEDE ENFRIARSE EL HIELO HASTA EL EXTREMO DE QUE NO PUEDA ESTARLO MÁS

Al llegar a ese punto, el hielo no tendrá ya más calor; en él no quedará ni rastro de la clase de movimiento a que damos ese nombre. En cuanto se refiere a dicho movimiento, sus átomos y moléculas se hallarán en reposo; no pueden ya estar más fríos. Si el calor es lo que suponemos, lo que hemos dicho del hielo debe ser aplicable a otra substancia cualquiera. Además, es posible averiguar hasta qué punto debe enfriarse un objeto para que no pueda estar ya más frío, y sabemos, por cierto, a qué grado corresponderá ese punto si lo medimos según las escalas termométricas de las que hemos tratado. Se ha demostrado de distintos modos que el frío absoluto corresponde a 273 grados bajo cero de la escala centesimal. Al llegar a esta temperatura, la materia no contiene ya calor alguno. Este descubrimiento es uno de los más grandes que se han hecho en este ramo de la ciencia, y sus consecuencias, como veremos, ofrecen sumo interés.





Una bola de plomo atada a un hilo es sumergida en aire líquido, y se pone tan fría, que si luego se la sumerge en un vaso de agua, esta última se congelará, quedando el vaso suspendido por medio de la bola, según indica el primer grabado. Vemos a la derecha una caja que contiene un peso y en cuya parte superior hay un hueco lleno de mercurio. La bola fría, sumergida en el mercurio, también lo congelará, quedando la caja suspencida lo mismo que el vaso.

Consideremos, en primer lugar, la cuestión de las medidas, que siempre es de gran importancia. Podemos ahora tomar como base algo mejor todavía que el punto de congelación o el de ebullición del agua, y aun mejor que el punto de congelación del mercurio o de cualquier otra substancia conocida. Hemos descubierto la existencia de una temperatura a la cual deja de existir lo que llamamos calor.

Es desde luego evidente que este punto ha de corresponder al cero de la mejor escala termométrica que pueda imaginarse.

De manera que, si bien hay un cero en la escala centesimal y en otras varias escalas, lo que tenemos ahora es un *cero verdadero*, a partir del cual empieza realmente a haber calor y temperatura, y a este cero le llamamos *cero absoluto*. Todos los sabios del mundo se están acostumbrando actualmente a efectuar sus operaciones sobre la base de esa escala verdadera de temperatura.

Cualquiera que estudie en libros de texto o asista a clases de física se hallará con frases como ésta: «10 grados absolutos». La manera corriente y algo inadecuada de referirse a esta temperatura es «263 grados centígrados bajo cero», y desde luego podemos advertir las ventajas que ofrece el valerse de la nueva escala. Es un hallazgo muy grande de la ciencia el haber descubierto el cero natural de temperatura en lugar de tener que elegir algún punto mucho más elevado que ése y llamarlo cero por falta de otro mejor.

La pregunta inmediata que se ocurrirá a cualquiera que reflexione acerca de este asunto, es la siguiente: ¿en qué estado se halla la materia a esa temperatura del cero absoluto? Procuremos figurarnos lo que esto significa. Hemos tomado un gas como el vapor de agua o el hidrógeno, cuyas moléculas se mueven de un modo determinado que llamamos calor; hemos suprimido luego gradualmente este movimiento, y el gas se ha ido enfriando, convirtiéndose primero en líquido, para después solidificarse. ¿Qué quedará, cuando hayamos suprimido enteramente ese movimiento o calor? Conviene tener presente que la substancia de que se trata se ha ido contrayendo a medida que se enfriaba; siendo así que no sólo una parte del volumen que tenía al principio, sino la mayor parte de dicho volumen era debido al calor que contenía. Si su tamaño se va, pues, reduciendo a medida que se enfría, ¿no es posible que cuando el cuerpo esté absolutamente frío, no le quede ya volumen? Hubo un tiempo en que se creía que así era efectivamente y la suposición no era desacertada; pero ahora *creemos* que la materia no desaparece ni aun a la temperatura del cero absoluto; es decir, que el calor no es materia, sino algo que se añade a ella. De manera que aun después que se ha quitado todo el calor, todavía queda materia, si bien ésta se halla entonces en un estado muy diferente.

Hemos dicho « creemos », puesto que nada podemos afirmar, ya que la contestación a esta pregunta: « ¿se ha reducido alguna vez la materia al cero absoluto? » es « no ». Sin embargo, tenemos muchas pruebas que nos permiten suponer que la materia no desaparecería, aun cuando llegara a dicha temperatura, cosa que todavía no ha podido hacerse ni es probable que se consiga jamás.

En primer lugar, los astrónomos creen que en los inmensos espacios vacíos que se extienden entre las estrellas y planetas, hay grandes cantidades de materia en forma de *polvo cósmico*; y los que se dedican al estudio del calor están convencidos de que en dichos espacios la temperatura debe ser la del cero absoluto, es decir, el frío más intenso que cabe imaginar. Por consiguiente, la existencia de esa temperatura no quiere decir que la materia desaparezca.

En segundo lugar, tenemos las pruebas que nos suministran las tentativas realizadas para alcanzar el cero absoluto en la tierra misma. Veamos ahora hasta qué punto de la escala termométrica ha podido llegar el hombre y qué resultados son los que ha obtenido.

No ofrece dificultad alguna el solidificar el gas ácido carbónico, cuyo aspecto en el estado sólido es el de una especie de nieve muy fría. La misma nieve, en realidad, no es más que vapor solidificado, siendo parecidos los dos casos.

Es muchísimo más difícil, aunque también es posible, enfriar suficientemente la mezcla de gases que llamamos aire para primero convertirla en líquido, enfriando luego este líquido todavía más, hasta que quede convertido en sólido.

LAS MARAVILLAS DEL AIRE LÍQUIDO, QUE PUEDE VERTERSE COMO SI FUERA AGUA

El aire líquido es mucho más frío que el hielo, y su aspecto es el del agua. Como ésta, puede guardarse en botellas y verterse en cualquier recipiente. Algunas gotas que nos salpicasen las manos no nos causarían daño, pero no podemos sumergir en él los dedos, y el beberlo habría de tener consecuencias horrorosas.

El empleo del aire líquido es uno de los procedimientos más cómodos para obtener temperaturas bajas, es decir, para enfriar las cosas, y es actualmente muy común en los laboratorios de química. Además, se ha inventado últimamente un aparato mediante el cual los que bajan a las minas para salvar a las víctimas de una explosión, pueden llevar cierta cantidad de aire líquido que, al evaporarse, les permite respirar. Se ha dicho también que el aire líquido podría utilizarse cuando resulte más barato, para ventilar las habitaciones; sería una clase de ventilación muy fría, pero, sin duda, inmejorable, con tal de que el precio fuese bastante reducido. Por

supuesto, que el aire líquido está siempre más frío que los objetos que le rodean, lo cual significa que aquella clase de movimiento llamado calor, penetra constantemente en él desde la parte de afuera; y a medida que esto sucede, el líquido se va evaporando y se convierte de nuevo en aire gaseoso ordinario.

DE QUÉ MODO PODEMOS VER UN PEDAZO DE AIRE SÓLIDO

A simple vista no es posible distinguir el aire líquido del agua; y asimismo el aire sólido ofrece un aspecto casi idéntico al del hielo. Claro está que el aire sólido es mucho más frío que el aire líquido; pero dista mucho de alcanzar más bajas temperaturas.



Las flores, sumergidas en aire líquido, se congelan a los pocos instantes, poniéndose tan quebradizas como el vidrio.

Mediante el empleo del aire líquido, y con ayuda de una maquinaria muy costosa y resistente, es posible liquidar cuantos gases son conocidos. La liquefacción del más ligero de todos los gases, el hidrógeno, fué un gran triunfo, y por medio del hidrógeno líquido se obtiene, por espacio de unos pocos segundos, hidrógeno sólido. Últimamente han sido coronados por el éxito los esfuerzos que se venían haciendo para reducir al estado líquido el gas helio.

La pregunta que ahora se nos ocurrirá es la siguiente: ¿cuál es el punto más bajo de la escala termométrica alcanzado por medio de esos gases? La contestación que puede darse es que los progresos realizados en estos últimos años nos han permitido alcanzar, no ya solamente 14 ó 12 grados absolutos, sino 5, 4 y aun por espacio de un momento, algo menos de 3 grados absolutos. Claro está que 3 grados absolutos corresponden a 270 grados bajo el punto de congelación del agua en la escala termométrica centígrada. A primera vista parece que estamos próximos a alcanzar la meta ansiada por todos los químicos; si, en efecto, hemos llegada a 2 ó 3 grados sobre el cero absoluto, es fácil que podamos salvar la distancia que todavía nos separa de él. Pero nada puede asegurarse.

LAS TREMENDAS DIFICULTADES QUE OFRECE EL QUITARLE TODO SU CALOR A UN CUERPO

Primeramente, aunque una diferencia de dos o tres grados parezca muy poca cosa, conviene tener en cuenta que es debido a que nuestra mente se deja muchas veces engañar cuando se trata de apreciar el valor verdadero de las cifras. Si empleásemos una graduación mucho más delicada, y dividiéramos cada grado en mil partes—pongo por caso—el intervalo que media entre el cero absoluto y la temperatura del helio o del hidrógeno sólidos parecería mucho mayor.

Hay, por otra parte, el hecho aplicable a muchos otros casos en los estudios científicos—de que progresamos tanto más despacio cuanto más descendemos. Podría suponerse que lo mismo es pasar de 12 a 8 grados de la escala absoluta, que de 8 a 4 ó de 4 a cero; pero dista mucho de ser así.

Cada grado que bajamos supone nuevas dificultades que es necesario vencer.

Dos ejemplos, que a primera vista podrán parecer absurdos, contribuirán a hacérnoslo comprender. Está, en primer lugar, el del hombre que le debía a otro 32 centavos y empezó devolviéndole 16, luego 8, después 4, y así sucesivamente, pagando cada vez la mitad de la suma anterior. Ahora bien; el hombre

que había prestado 32 centavos no tardó en recobrar 31; pero ni en el transcurso de toda la eternidad hubiera podido llegar a reembolsarse el último centavo —aun cuando se hubiese efectuado un pago cada segundo. Si consideramos el asunto desde el punto de vista del individuo que se esforzaba por recobrar sus 32 centavos, observaremos que, como en cada nuevo plazo no cobraba sino la mitad de lo que se le quedaba debiendo, por mucho tiempo que siguiera cobrando, siempre le quedaría por cobrar la mitad de lo percibido anteriormente.

Supóngase, pues, que en vez de tratarse de cobrar 32 centavos se trate de agotar todo el aire contenido en un recipiente, y que, así como el acreedor recibía 16 centavos cuando se le debían 32, y 8 cuando se le quedaban debiendo 16, cada vez que hacemos funcionar la bomba sacamos la mitad del aire que queda en el espacio que deseamos vaciar. No tardaremos en dejarlo muy enrarecido, pero si continuamos sacando el aire en esta forma, aunque sea eternamente, nunca llegaremos a obtener un vacío perfecto; pues por poca que sea la cantidad de aire que quede en el recipiente, a cada golpe del émbolo no haremos sino reducirla a la mitad.

Estos ejemplos nos ayudarán a comprender que es más fácil obtener un descenso de cien grados a partir del punto de congelación del agua, que reducir en uno o dos grados la temperatura de un cuerpo cuando nos aproximamos al cero absoluto; y es probable que nunca consigamos alcanzar dicha temperatura. Pero es mucho lo que ya se ha realizado, y con sólo haber alcanzado la temperatura del aire líquido se ha puesto en manos de los químicos modernos un instrumento de suma utilidad. Uno de los hechos más notables que se observan al estudiar las bajas temperaturas es el de que los fenómenos químicos corrientes sufren un cambio completo. Parece, por lo visto, que la mayor parte de las reacciones químicas usuales, como las que ocurren cuando arde un fuego o las que se producen en nuestro propio cuerpo, no pueden tener lugar más que dentro de ciertos límites definidos de temperatura. Se cree, por ejemplo, que a la temperatura del sol los cuerpos están demasiado calientes para que sea posible ninguna clase de reacción química, y los átomos no pueden combinarse unos con otros; de manera que en el sol no existen más que elementos simples, sin que sea posible la formación de compuesto alguno.

Lo propio ocurre, por lo regular, disminuyendo el calor que aumentándolo. Así como las reacciones químicas no se producen a altas temperaturas, tampoco pueden producirse cuando la temperatura es muy baja. Los elementos que en condiciones normales se combinan unos con otros con muchísima energía y aun con fuerza suficiente para causar explosiones, no muestran tendencia alguna a unirse cuando se les pone en contacto a bajas temperaturas.

Existe, sin embargo, como lo han demostrado Sir James Dewar y el gran químico francés Moissan, una química especial propia de las temperaturas bajas, de la cual no sabemos todavía casi nada, porque nadie ha podido estudiarla, e ignorábamos que existieran semejantes temperaturas. La química de las temperaturas bajas tiene sus límites y particularidades propios; cuando se llegue a poder explorar este nuevo mundo químico, se obtendrán seguramente resultados de suma importancia en todos los ramos del saber humano.

EL CALOR INTENSO QUE DESTRUYE A TODO SER VIVIENTE

Es cosa muy importante estudiar la relación entre los extremos de temperatura y la vida de los seres. A todo ser viviente le corresponden ciertos límites de temperatura, dentro de los cuales podrá vivir en mejores condiciones. Podemos, pues, suponer un ser cualquiera y observar los efectos que en él producen el frío por una parte y por otra el calor. Lo primero que vemos es que el calor suele tener consecuencias fatales.

No conocemos un ser vivo que pueda

resistir mucho tiempo la temperatura del agua hirviendo. La resisten ciertos microbios por espacio de uno o dos minutos, si se da el caso de que vayan protegidos por alguna clase de envoltura, pero eso es todo.

Ahora bien; aunque el agua hirviendo está muy caliente, su temperatura no es nada comparada con la de una llama y menos con la de un horno o con la del sol. Vemos, pues, que el límite superior de las temperaturas dentro del cual puede subsistir la vida es extremadamente corto. De los miles de grados que fácilmente pueden alcanzarse más allá de dicho límite, unos pocos bastarán para que la vida quede destruída.

El contraste es muy grande cuando vamos en dirección opuesta. Se sabe desde hace tiempo que los peces, los microbios y varias clases de planetas, resisten la acción del hielo en proporciones considerables, sin morirse.

MICROBIOS QUE DEJAN DE VIVIR PARA LUEGO RESUCITAR

Pero acaso nadie hubiera podido sospechar el hecho, comprobado hace unos pocos años, de que ciertos microbios, que no viven ni cinco minutos a la temperatura del agua hirviendo, pueden conservarse en el aire líquido por espacio de seis semanas seguidas, y quizás más, encontrándoseles luego vivos. Este notable descubrimiento puede explicarse en la actualidad casi sin temor a equivocarse. No nos figuremos que la vida de los microbios sigue su curso normal mientras se hallan expuestos a un frío tan espantoso.

Parece ser como si la vida de esos seres se paralizara, pero sin que por eso se mueran. No queda destruído el principio esencial de que depende su vida, de modo que, cuando se les saca del aire líquido, pueden, por decirlo así, empezar otra vez a vivir, a pesar de que, mientras estaban en el líquido, el frío era demasiado intenso para que pudieran tener lugar aquellas acciones químicas necesarias al desenvolvimiento de la vida.

Estamos aprendiendo que la vida depende de la acción de ciertos *fermentos*, o sea de unos compuestos químicos extremadamente complicados, que poseen la notable facultad de originar y de mantener determinadas reacciones químicas en los cuerpos que les rodean. Todos los fermentos conocidos son destruídos por el calor con suma facilidad.

Si tomamos un poco de pepsina, fermento del estómago, u otro fermento cualquiera, y lo hacemos hervir por espacio de uno o dos minutos, ya no volverá a ser capaz de efectuar ningún trabajo digestivo. Así se explica el motivo por el cual el calor destruye tan rápidamente a los seres vivientes. Se mueren, porque los fermentos, sin los cuales no pueden vivir, son descompuestos por el calor, y como ya no existen cuando se enfría el cuerpo, la vida no puede reanudarse, pues no se forman nuevos fermentos más que partiendo de otros fermentos de la misma especie. Esto último es lo más maravilloso de cuanto se refiere a dichos fermentos.

POR QUÉ ES PERJUDICIAL EL TOMAR DEMASIADOS HELADOS

Veamos cómo puede aplicarse lo que ya sabemos de las temperaturas bajas. Los microbios que sumergimos en el aire líquido, como todos los demás seres, necesitan para vivir los fermentos contenidos en su cuerpo. El calor mataría a esos mismos microbios, porque destruye dichos fermentos; pero el enfriamiento no los destruye, sino que únicamente suspende su acción; la digestión no puede efectuarse mientras la temperatura es muy baja. Por eso es malsano abusar de los helados.

Por consiguiente, ya que la vida depende de los fermentos y éstos no funcionan a temperaturas muy bajas, no puede decirse que los microbios sumergidos en el aire líquido estén realmente vivos, y si lo están no ejecutan ninguna función vital.

Pero hemos visto que no están muertos, y la razón es que, a pesar de que su vida ha quedado momentáneamente suspendida, no han sido destruídos los elementos esenciales de que depende dicha vida.



Si se hacen pasar los rayos del sol a través de un pedazo de hielo tallado en forma de lente, las ondas caloríficas conservarán su calor, a pesar de que el hielo esté frío, y encenderán un montón de madera y de papel, según nos muestra el grabado.

LAS DISTINTAS CLASES DE CALOR

HEMOS tratado del hecho más importante relativo al calor, es a saber, que éste consiste en un movimiento especial de las partículas materiales, y por consiguiente, debemos ponernos en condiciones de comprender que la materia podría existir sin ese movimiento, o sea, completamente fría. Este descubrimiento tocante a la naturaleza del calor es uno de los más grandes que ha realizado la ciencia moderna.

Pero, al llegar a este punto, muchos echarán de ver, que, o bien ha habido alguna omisión en cuanto venimos diciendo, o bien las palabras empleadas pueden interpretarse en distintos sentidos; y se les ocurrirá la siguiente pregunta: puesto que el calor es una especie particular de movimiento y que al traspasar los límites de la atmósfera ya no se halla materia entre nosotros y el sol ¿qué clase de calor es ése que nos envía este astro? La dificultad que se nos presenta nace, según ya indicamos, de las confusiones a que da lugar el empleo de la palabra calor. Ahondando el asunto, vemos que, hasta cierto punto, se explican dichas confusiones; pero no por eso dejan de existir. Preciso es confesar, desde luego, que la palabra calor se aplica a dos cosas muy distintas: primeramente, a cierto movimiento particular de vaivén de la materia, y en segundo lugar, a una clase especial de ondulaciones del éter. Examinemos, pues, de un modo general, antes de entrar en detalles, esa segunda especie de calor, como lo hemos hecho con la primera. Si desde un principio adquirimos nociones bien definidas, lo demás resultará fácil. Procuremos olvidar, por el momento, lo que sabemos acerca del calor, considerado como una forma del movimiento de la materia, o por lo menos, si no lo olvidamos, supongamos que se atribuye a la palabra calor un sentido muy diferente.

El éter se encuentra en todas partes; el espacio entero, tanto en donde hay materia como en donde no la hay, está lleno de ese éter, que puede moverse en forma ondulatoria. Las ondas producidas son de clase y dimension diversas; pero su naturaleza siempre es la misma, y todas recorren el espacio con igual velocidad. Las distintas partes del organismo humano perciben algunas ondulaciones de ésas, a las cuales se dan nombres especiales; un grupo determinado de ellas, por cierto no muy importante, impresiona nuestra vista de manera que las *vemos*; y a las ondas que pertenecen a este grupo se las llama, por tanto, ondas lumínicas o luminosas. Próximas a estas últimas, en la escala de las ondas etéreas, hay otras que, en realidad, pertenecen a la misma clase,

pero que nuestra vista no puede percibir, y, por consiguiente, no las consideramos como ondas luminosas. Pero hay otras partes del cuerpo que las perciben, y la sensación que producen es la de calor; de modo que las llamamos ondas de calor o caloríficas. Valiéndonos de la expresión moderna, cuyo empleo se generaliza más y más, diremos que el éter transmite radiaciones. En la inmensa gama de las radiaciones etéreas que pueden compararse con la serie de notas de un piano, las radiaciones caloríficas están situadas algo más abajo de las ondas lumínicas. Las dos son esencialmente iguales; sólo difieren una de otra como una octava de un piano difiere de la inmediata. El calor y la luz radiantes recorren el éter con la misma velocidad, o sea, a razón de unos 300,000 kilómetros por segundo. Ambas nos llegan del sol a un mismo tiempo.

UNA COSA QUE DENUNCIA EL TERMÓMETRO SIN QUE PUEDAN VERLA LOS OJOS

Es posible descomponer las radiaciones haciéndolas pasar por un prisma, o sea por un trozo de cristal de tres caras. Divididas en esta forma, las radiaciones aparecen en su orden correspondiente, siendo fácil, mediante un termómetro, demostrar que en la parte obscura, a un lado y más allá de la mancha luminosa formada por los rayos que atraviesan el prisma, hay algo que « siente », por decirlo así, el termómetro, y es el calor radiante, procedente del sol.

Ahora bien; el mejor modo de comprender los diversos significados que pueden darse a la palabra calor, será seguir uno de esos rayos, desde que parte del sol hasta que sentimos su calor en la cara.

Supongamos, por un momento, que somos ciegos, o que tenemos cerrados los ojos; para nada hemos de tener en cuenta las radiaciones lumínicas, sino únicamente las ondas del calor

El sol se compone de materia; y la materia del sol, como todas las clases de materia, está formada de moléculas y átomos, los cuales, en lo que se refiere al sol, se hallan sometidos a un calor intenso. Su temperatura se representa por miles de grados.

LOS ÁTOMOS DEL SOL, CUYO MOVIMIENTO ES CAPAZ DE MATAR A UN HOMBRE EN LA TIERRA

Ya sabemos lo que esto significa, y es que los átomos y moléculas del sol están animados de un movimiento especial y rapidísimo de vaivén al que se deben los efectos del calor. El problema es, pues, el siguiente: ¿cómo ejerce su acción sobre nosotros el movimiento de esos átomos, que distan más de ciento cuarenta millones de kilómetros? Puede darse, efectivamente, el caso de que, paseando por la superficie de la tierra, nos muramos de insolación, a consecuencia del rápido vaivén de unos átomos que se mueven a aquella enorme distancia. Esto, sin embargo, puede explicarse perfectamente, así en el caso del sol como del calor despedido por el fuego que calienta una habitación.

Conviene recordar que en todas partes hay éter. Considerémoslo, pues, por un momento, como un océano en que todas las cosas están sumergidas; la tierra, el sol y los demás astros. Ahora bien; los átomos y moléculas del sol o de un hogar, vibrando rápidamente en este océano de éter, pueden muy bien producir ondulaciones del mismo modo que las produce la cola de un pez cuando se agita en el agua. Estas ondas constituyen el calor radiante, que recorre a través del éter millones de kilómetros, partiendo del sol y propagándose con igual intensidad en todas direcciones, y del cual sólo una parte ínfima va a dar en la tierra y es aprovechada por sus habitantes.

Por fortuna para nosotros, gran cantidad de esos rayos poderosos es retenida por los átomos y moléculas de la atmósfera, antes de que nos alcancen. Nadie podría resistir el brillo de los rayos solares, si no fuera por el océano de aire que absorbe gran parte de ellos.

LAS ONDAS DE ÉTER QUE PROVIENEN DEL SOL DAN CALOR Y LUZ

¿Qué sucede cuando esos rayos solares entran en el aire, o tropiezan con cualquier cosa rodeada de aire, como una piedra o una superficie de agua? La onda ha recorrido el éter, partiendo del cuerpo en cuya materia ha sido origi-

nada, y va a dar con otro cuerpo material; en este cuerpo, por efecto de la onda, se reproduce la misma clase de movimiento que el que animaba los atomos del cuerpo de donde ha partido; de manera, que el calor de la materia del sol origina calor en la materia de que se compone la tierra. Es posible que aun no se le haya ocurrido a nadie hacer notar la analogía existente entre este fenómeno y la telefonía. Cuando hablamos por teléfono provocamos en su materia, o sea, en el llamado transmisor, ciertos movimientos de vaivén, los cuales no son transmitidos por la materia del hilo telefónico, sino que producen ondulaciones en el éter que contiene dicho alambre; y esas ondulaciones son precisamente del mismo género que las de la luz y del calor. En el otro extremo del hilo telefónico hay una pieza llamada receptor, en la cual se originan vibraciones iguales a las del transmisor. Así mismo, las ondulaciones producidas en el éter por la materia caliente del sol, van a parar a la tierra, produciendo en su materia los efectos a los cuales damos el nombre de calor. Ejemplo de ello son los resultados que pueden obtenerse por medio de un cristal de aumento. Sabido es que, si tomamos uno de esos vidrios de forma circular, conocidos con el nombre de lentes, colocándolo de manera que lo atraviesen los rayos del sol, proyectará una mancha brillante sobre la superficie de un pedazo de papel, y que aun es posible hacer que el papel se queme. El cristal, en tal caso, ha obrado, no sólo sobre las ondas lumínicas que percibe nuestra vista, sino sobre las radiaciones invisibles del calor; cuando el papel ha sido calentado de este modo hasta un punto suficiente, se combina con el oxígeno del aire y decimos que arde.

En estas últimas frases hemos empleado la palabra calor en dos sentidos distintos; pero estamos ya bastante adelantados en el estudio del asunto para no confundirlos y para darnos claramente cuenta de la inmensa diferencia que existe entre ese movimiento especial de los átomos del papel, al cual llamamos calor, y aquellas ondas del éter, que son una especie de luz invisible, y que recorren millones de kilómetros en el seno del espacio vacío.

LA CLASE DE CALOR QUE SE MUEVE DE DOS MANERAS DISTINTAS EN EL SENO DE LA MATERIA

No hace falta que digamos aquí nada más acerca del calor de radiación; pero, como es natural, cuando estudiemos la luz volveremos a referirnos a tan importante asunto. Ahora consideremos de nuevo esa clase de calor, que consiste en un movimiento de las moléculas o átomos de la materia, y que para distinguirlo del calor radiante, podría llamarse calor molecular o atómico.

Esta especie de calor, según todos habremos observado, puede transmitirse de dos maneras diferentes, y sabiendo ya en qué consiste, no ofrecerá dificultad alguna el hacernos cargo de cómo se efectúa, en ambos casos, esa transmisión. Veamos lo que ocurre cuando se calienta un poco de agua.

Se comprende, desde luego, que el movimiento especial, que hemos dado en llamar calor, se comunique a las moléculas de agua más próximas al fondo de la vasija. Es posible que entonces se eleven esas moléculas hasta la superficie del líquido, llevándose consigo el calor que han recibido; y así sucede efectivamente. El calor, aplicado a la superficie inferior del agua, alcanza de este modo los niveles superiores, después haber sido—digamoslo así—trasladado por la masa líquida; y a esta clase de traslado del calor se le da el nombre de *convección*, palabra que no es de las más usuales; pero su sentido se decubre fácilmente si tenemos presente la palabra vehículo. Las dos vienen de la palabra latina *veho*, que significa « llevo », de manera que convección, o sea « llevar con » expresa de un modo exacto en qué forma se propaga el calor, cuando las partículas calientes de algun cuerpo se trasladan de un punto a otro.

MATERIA QUE VA ACOMPAÑADA DE CALOR, COMO A UNA ABEJA LE ACOMPAÑA SU ZUMBIDO

El caso podría compararse al de un insecto que zumba.

El zumbido se debe a la vibración de las alas, de modo que, cuando el insecto vuela, le acompaña ese sonido.

El movimiento de las moléculas podemos considerarlo de igual manera como una especie de zumbido, que viene a ser el calor que aquellas se llevan consigo, cuando se trasladan de un lugar a otro. Si consideramos el asunto desde este punto de vista, no habrá temor a confundirnos, cuando tratemos de estudiar otro genero de transmisión del calor.

La convección del calor es cosa muy importante en lo que se refiere a la vida y a la historia de la tierra. Queda, claro está, entendido, que únicamente es aplicable a los flúidos, esto es, a los líquidos y a los gases. La materia fluye de manera que pueda llevarse consigo el calor; pero en un sólido cualquiera, los átomos y las moléculas, aunque estén muy calientes y vibren con mucha rapidez, no se mueven de su sitio. Por consiguiente, en los sólidos no puede haber convección de calor, mientras en los líquidos son casi incesantes las corrientes que la producen. Este hecho, harto conocido, puede comprobarse de mil modos distintos.

DE QUÉ MODO LAS CORRIENTES DEL OCÉANO Y LAS CORRIENTES ATMOSFÉRICAS SON DEBIDAS AL CALOR

Tratándose del agua contenida en una vasija, observamos que las partículas calentadas, se elevan a causa de que el agua caliente pesa menos que la fría. Por tanto, si se calienta una parte de una masa líquida, la masa entera se pone en movimiento, así en el caso de una vasija de agua como en el de los océanos o de otros flúidos, tales como la atmósfera. Las distintas partes de la masa de agua que recubre la superficie de la tierra, así como las de su envoltura atmosférica, se calientan unas más o menos que otras, según las épocas, formándose de este modo corrientes de convección. Los resultados son muy importantes, no sólo porque el calor es trasladado de un lugar a otro, sino porque también se halla en movimiento la materia que encierra ese calor. De este modo se originan las corrientes oceánicas y las atmosféricas, que llamamos vientos. Soplan, entre otros, de manera permanente, los llamados vientos alisios, cuyo origen es debido enteramente a las leyes del calor que venimos estudiando en el presente capítulo. En efecto, si consideramos la tierra en su conjunto, comprenderemos desde luego que las regiones tropicales son más cálidas que las zonas templadas, porque están expuestas a los rayos del sol de manera más directa.

Así, pues, al calentarse el aire de los trópicos se hace más lijero y asciende llevándose el calor consigo; pero a medida que se eleva va dejando detrás de sí cierto espacio vacío, y este espacio es ocupado por el aire más frío y más pesado que acude para llenarlo. Así es que se levanta un viento que en el hemisferio septentrional de la tierra sopla del norte en dirección a los trópicos, y otro que sopla del sur hacia esas mismas regiones. Si el globo terrestre no girase sobre su eje, esos vientos soplarían exactamente en la dirección del norte o en la del sur; pero en virtud de la rotación de la tierra, y debido a que un punto cualquiera de los trópicos se mueve mucho más de prisa que un punto situado en las regiones templadas, dichos vientos sufren una desviación. La dirección de estos vientos es inversa en el hemisferio austral.

EL ENCUENTRO DE LOS VIENTOS QUE ANTES IMPULSABAN A LOS BUQUES MERCANTES

La dirección aparente de los vientos alisios no es, por tanto, la de norte a sur o la de sur a norte, sino que en el hemisferio boreal soplan del nordeste y en el austral del sudeste. Los dos vientos se encuentran en una faja situada a igual distancia de los polos, y cuando en tiempos pasados penetraban los buques en esas regiones de calma, donde, por decirlo así, se neutralizan los vientos alisios, les solía acontecer a los navegantes quedarse detenidos por largo espacio de tiempo. Los vientos alisios no tienen ahora la misma importancia que en épocas pasadas; pero su estudio

es interesante por lo que se refiere a las leyes del calor.

Vamos a considerar esas mismas leyes del calor con relación al océano. Se trata aquí de un flúido cuyas partes distintas pueden moverse con entera libertad; y, al hacerlo, las acompaña el calor en virtud de lo que hemos llamado *convección.* El agua más caliente ascenderá porque es menos pesada, y la fría, por no ser tan ligera, correrá por debajo de ella, exactamente del mismo modo que tratándose de los vientos alisios producidos en ese océano de aire que llamamos atmósfera.

Las consecuencias son muy importantes en lo relativo al océano de agua; porque, en virtud de las leyes del calor, el agua fría, que se halla cerca de la superficie en las regiones polares y aun en las templadas, pero particularmente en las primeras, corre hacia las zonas más cálidas de la tierra; mas, al hacerlo, ha de descender a niveles inferiores, quedando en la superficie el agua más caliente, que ha estado expuesta al calor del sol en las antedichas regiones cálidas.

LA CORRIENTE CONTINUA DE AGUA FRÍA QUE DA VIDA AL OCÉANO

De manera que esa incesante circulación de agua en el seno de los mares ha de considerarse como algo parecido a una corriente de agua fría que penetrara por el extremo de un baño lleno de agua caliente. El agua fría, en tal caso, no hace más que arrastarse por el fondo. Ahora bien; eso mismo es lo que ocurre en el océano, y la inmensa importancia de ese hecho estriba en que la vida de los peces en las grandes profundidades, así como la de todos los distintos generos de animales y vegetales que viven en el fondo de los mares, no podrían subsistir, si no fuera por esa gran corriente de agua fría. Mientras pasa por la superficie absorbe el oxígeno del aire, llevándolo después a las regiones profundas, en donde dicho oxígeno sostiene la vida.

Hay otro ejemplo de convección, que acaso es el más interesante, y cuya importancia es, en cierto modo, insuperable.

No suelen mencionarlo la mayor parte de los libros que se han escrito sobre el asunto, quizás porque las personas que se dedican a tales estudios lo consideran solamente desde un punto de vista. Si examinamos nuestro propio cuerpo, o el de cualquier animal de sangre caliente, observaremos que todas sus distintas partes tienen la misma temperatura.

EL MOVIMIENTO DE LA SANGRE EN NUESTRAS VENAS ES PARECIDO AL DEL AGUA EN EL SENO DEL OCÉANO

Sabido es que el calor no se produce en las manos ni en los pies, pongamos por caso, sino tan sólo en ciertos órganos del exterior del cuerpo y en los músculos, cuando éstos se hallan en actividad. ¿Cómo se reparte, pues, el calor de manera que esté caliente todo el cuerpo? La contestación a esta pregunta es que la circulación de la sangre, que ya es cosa maravillosa por otros muchos motivos, constituye, además, un ejemplo muy notable de convección del calor. Sin este efecto de convección, las extremidades del cuerpo no podrían mantenerse lo bastante calientes, pues están constantemente perdiendo calor mucho más de prisa de lo que lo reciben. Pero la sangre, recorriendo sin cesar el cuerpo entero, lleva a los distintos miembros, así como a la superficie de la piel y a otras partes, como las orejas, expuestas a pérdidas de calor, no sólo el alimento y el oxígeno, sino también el calor; y cuando pasa por los vasos sanguíneos que hay en esas partes, el calor que ha trasladado allí se infiltra por dentro de los tejidos y los mantiene a una temperatura adecuada.

EL CALOR QUE SE COMUNICA SIN CESAR DE UNOS OBJETOS A OTROS

Ahora que ya comprendemos perfectamente en qué consiste la convección del calor, podremos estudiar otro modo muy importante que tiene de propagarse, y que se llama *conducción.* La conducción del calor ocurre en todas las circunstancias en los sólidos, en los gases y en los líquidos, así como de sólidos a líquidos, de gases a sólidos, y de líquidos a gases.

Es una ley invariable y aplicable en

todas las ocasiones, la de que siempre que la temperatura de un cuerpo es mayor que la de otro, el calor se comunicará del más caliente al más frío. Del mismo modo que decimos que el agua tiende siempre a nivelarse por efecto de la atracción terrestre o fuerza de gravedad, puede decirse que la tendencia del calor es constante a igualar su propio nivel. Toda porción de materia, en donde quiera que se halle, cuya temperatura sea más elevada que la de los objetos que la rodean, les comunicará su calor, por el mismo motivo que un río siempre corre cuesta abajo.

DE QUÉ MODO UNA FILA DE PERSONAS PUEDE DEMOSTRAR LOS DISTINTOS MEDIOS POR LOS CUALES SE PROPAGA EL CALOR

Ahora bien; conviene que en primer lugar nos hagamos cargo de lo que es la conducción y cuál es la diferencia entre ella y la convección. Tratándose de la primera, el calor es traspasado o conducido, sin que mude de sitio la materia que lo contiene. Es como una fila de niños, cada uno de los cuales golpea al que está a su lado; pero tratándose de la convección, los niños mudarían de sitio llevándose consigo los golpes, por decirlo así. Si tenemos presente en qué consiste el calor, nos podremos figurar de qué modo la vibración o zumbido de los átomos de un extremo de una barra de hierro es transmitido a los del otro extremo, y asimismo de qué manera se propagan los « zumbidos » del calor a lo largo de dicha barra. No es posible ahondar más ese problema de la conducción, pues ignoramos de qué modo se mantienen unidos los átomos de una barra de hierro o de otro objeto cualquiera.

De todos modos, podemos estudiar la conducción desde otros puntos de vista, observándose, en primer lugar, que las distintas clases de materia varían muchísimo en lo relativo a su poder de conducción.

Todos sabemos que si se mete en el fuego el extremo de una barra de hierro, el otro extremo se pondrá caliente; y sin embargo, es posible que una punta de un palo esté a punto de arder sin que la otra deje de estar casi fría, aun siendo mucho más corto el palo que la barra de hierro. Los metales, por lo regular, son muy buenos conductores del calor, según indica lo ocurrido con el hierro. Los tejidos de los seres vivientes, son por otra parte, muy malos conductores; la madera es un tejido de esa clase, aunque no siempre nos hagamos cargo de ello, y ya hemos visto lo mal que conduce el calor. Asimismo los huesos, la lana, la seda y aun el hilo y el algodón, conducen muy mal el calor.

POR QUÉ ES PRECISO QUE LA SANGRE CIRCULE EN NUESTRAS VENAS

Este hecho de orden general, relativo a los tejidos de los seres vivientes, nos demuestra cuán necesario es que la circulación de la sangre cumpla el oficio que acabamos de estudiar; pues nuestros cuerpos son tan malos conductores, que el calor producido en el hígado y en los músculos, no podría mantener el cuerpo a la temperatura debida, si no fuera porque la convección acude en ayuda de la conducción; tenemos, primero, mediante la sangre, una rápida convección, y luego la conducción a través de los vasos sanguíneos más delgados que hay en los tejidos.

Si bien hemos de clasificar los metales entre los buenos conductores, difieren muchísimo unos de otros en lo tocante a este particular. Los mejores conductores del calor son los que mejor conducen también la electricidad, como por ejemplo, el cobre y la plata. El hecho de que los tejidos vitales conduzcan mal el calor, dista mucho de ser un inconveniente; es, efectivamente, una ventaja para los animales de sangre caliente el que, mediante su propia fuerza vital, sean capaces de producir tejidos especiales, malos conductores del calor, con los cuales puedan abrigarse.

